

Analisa Sinyal EKG dengan Metoda HRV (Heart Rate Variability) pada Domain Waktu Aktivitas Berdiri dan Terlentang

Junartha Halomoan

Fakultas Teknik Elektro dan Komunikasi

Institut Teknologi Telkom (IT Telkom)

Bandung, Indonesia

10820588@ittelkom.ac.id , juned_new@yahoo.com

Abstrak—Tingginya angka kematian di Indonesia akibat penyakit jantung koroner (PJK) mencapai 26%. Tingginya angka tersebut, mengakibatkan PJK sebagai penyebab kematian nomor satu di Indonesia. Oleh karena itu, untuk mencegah tingginya angka kematian PJK, dapat dilakukan pemeriksaan rekaman EKG secara dini. Hasil rekaman EKG dianalisa dengan menggunakan metoda HRV pada domain waktu untuk mengetahui aritmia jantung seseorang sehingga dapat mengambil langkah medis yang tepat. Analisa EKG yang diteliti saat aktivitas berdiri dan terlentang pada 5 subyek yang terdiri dari 4 laki-laki dan 1 perempuan yang berumur antara 20 tahun sampai 58 tahun dalam waktu 5 menit. 1. Hasil analisa metoda HRV pada domain waktu dengan membandingkan aktivitas berdiri dan aktivitas terlentang: kecepatan rata-rata detak jantung semakin menurun, waktu rata-rata interval RR semakin meningkat, waktu minimum interval RR semakin meningkat, waktu maksimum interval RR semakin meningkat, standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat. Hal ini menunjukkan perubahan aktivitas dari berdiri ke terlentang dapat memperlihatkan perubahan aktivitas simpatik ke parasimpatik pada metoda HRV pada domain waktu.

Kata kunci—Elektrokardiogram; hrv; simpatik; parasimpatik

I. PENDAHULUAN

Indonesia saat ini menghadapi masalah kesehatan yang kompleks dan beragam. Mulai dari demam berdarah sampai penyakit pernapasan akut akibat virus flu burung yang terjadi beberapa waktu lalu. Selain penyakit tersebut, ada penyakit lainnya yang menyebabkan kematian nomor satu di Indonesia sampai sekarang yakni penyakit jantung koroner (*acute coronary syndrome*) atau disebut *the silence killer*. Angka kematian di Indonesia akibat penyakit jantung koroner (PJK) mencapai 26% [1]. Oleh karena itu, untuk mencegah tingginya angka kematian PJK, dapat dilakukan deteksi dini PJK. Salah satu caranya adalah pemeriksaan rekaman EKG (elektrokardiogram/ *electrocardiograph*), atau pemeriksaan *echocardiograph* [6]. Suatu perangkat keras dan lunak untuk untuk merekam sinyal EKG telah dirancang, diimplementasikan serta sudah dipublikasikan pada jurnal [3]. Penelitian analisa EKG ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian pembuatan perangkat Telekardiologi. Penggunaan metoda HRV untuk menganalisa sinyal EKG dapat melakukan

pengukuran, interpretasi fisiologis, dan penggunaan klinis pada sinyal EKG [4] sehingga dapat mengetahui aritmia jantung seseorang dan mengambil langkah medis yang tepat.

Dalam penelitian ini, metode HRV pada domain waktu yang digunakan untuk membandingkan informasi sinyal EKG pada aktivitas berdiri dan terlentang pada beberapa orang dalam jangka waktu tertentu.

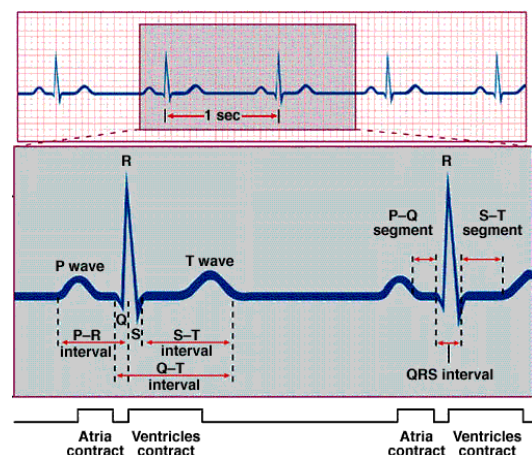
II. LANDASAN TEORI

A. Elektrokardiogram

Elektrokardiogram (EKG) adalah suatu sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas listrik otot jantung. EKG ini merupakan rekaman informasi kondisi jantung yang diambil dengan memasang elektroda pada badan [3].

B. Karakteristik dan parameter-parameter dalam Elektrokardiogram

Sinyal EKG terdiri dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T (diperlihatkan pada gambar 2.1 [5]) digunakan untuk mendeteksi kelainan jantung atau aritmia (*arrythmia*). Urutan terjadinya sinyal EKG yang dapat menimbulkan gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T (dengan deskripsi yang terdapat dalam tabel 2.1 [6,7]).



Gambar 1. Bentuk Gelombang P, kompleks QRS, gelombang T

TABLE I. DEFLEKSI EKG DENGAN PENGUKURAN MENGGUNAKAN TEKNIK REKAMAN EKG LEAD II PADA SUBYEK SEHAT

Defleksi	Deskripsi
Gelombang P	Gelombang EKG yang pertama dilihat dengan ciri- ciri lengkung kecil, defleksi positif (dengan amplitudo < 0,3mV)
Interval PR	Jarak antara awal gelombang P dengan awal kompleks QRS; pengukuran waktu antara gelombang depolarisasi dari atrium ke ventrikel yang mempunyai durasi 0,12 – 0,2 detik.
Interval QRS	Gelombang Q: defleksi negatif (dengan amplitudo 25% dari gelombang R); Gelombang R: defleksi positif (dengan amplitudo 1,6- 3mV); Gelombang S: defleksi negatif (dengan amplitudo 0,1-0,5mV) setelah gelombang R
Segmen ST	Jarak antara gelombang S dan awal gelombang T; Pengukuran waktu antara depolarisasi ventrikel dan awal repolarisasi ventrikel yang berdurasi 0,05- 0,15 detik
Gelombang T	Lengkung positif setelah kompleks QRS yang memrepresentasikan repolarisasi ventrikel dengan amplitudo 0,1- 0,5 mV
Interval QT	Pengukuran waktu dari awal QRS sampai akhir gelombang T yang memrepresentasikan aktivitas ventrikel yang berdurasi 0,35- 0,44 detik

C. Sistem Saraf Manusia

Metoda HRV erat kaitannya dengan sistem saraf manusia atau human nervous system (HNS) khususnya sistem saraf otonomik atau autonomic nervous system (ANS). Sistem saraf manusia terbagi dua bagian yaitu sistem saraf somatik atau *somatic nervous system* (SNS) dan sistem saraf otonomik atau *autonomic nervous system* (ANS). Sistem saraf somatik merupakan sistem saraf yang mengendalikan organ tubuh dalam keadaan sadar (biasanya pada bagian otot) [8] sedangkan sistem saraf otonomik merupakan sistem saraf yang mengatur fungsi organ tubuh (seperti ginjal, jantung, paru-paru dan lain- lain) dan homeostasis dan biasanya terjadi di bawah sadar. ANS sangat berpengaruh terhadap kecepatan detak jantung, pencernaan, kecepatan napas, saliva, perspirasi, perubahan diameter pupil mata, dan lain- lain [9,10]. ANS terbagi dua bagian yakni sistem saraf parasimpatik atau *parasympathetic nervous system* (PNS) dan sistem saraf simpatik atau *sympathetic nervous system* (SNS)[9]. Dua sistem saraf (PNS dan SNS) mempunyai fungsi yang berlawanan, sebagai analogi bagian simpatetik bekerja sebagai akselerator sedangkan parasimpatik bekerja sebagai pelambat, simpatik (sering dikenal sebagai *fight or flight response*) bekerja dengan respons yang cepat dan parasimpatik (sering dikenal sebagai *rest and digest response*) tidak membutuhkan respons yang tiba- tiba [11,12,13].

D. Heart Rate Variability (HRV)

Pada tahun 1996, Perkumpulan Masyarakat eropa para dokter ahli jantung atau *Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology* yang melibatkan para ahli kesehatan, teknik, matematika dan fisiologis mengeluarkan suatu pedoman standar pengukuran, interpretasi fisiologis, dan penggunaan klinis (*standard of measurement, physiological interpretation,*

and clinical use) untuk analisa sinyal EKG yang dinamakan HRV (*heart rate variability*) [4]. Dengan menggunakan metoda HRV, seseorang dapat diketahui perubahan aktivitas jantungnya dan dianalisa untuk menginterpretasikan keadaan jantung. Analisa EKG dengan metoda HRV berfokus terhadap perubahan osilasi interval waktu detak jantung yang berurutan juga kecepatan detak jantung. Oleh sebab itu HRV atau *heart rate variability* digunakan untuk menggambarkan variasi interval RR dan kecepatan detak jantung. badan.

E. Analisa EKG metoda HRV pada domain waktu

Metoda analisa HRV pada domain waktu merupakan metoda paling sederhana untuk analisa variasi kecepatan detak jantung. Analisa domain waktu untuk interval RR dan kecepatan detak jantung (lihat persamaan 2.1[10]) meliputi analisa histogram, *scattergram*, dan beberapa perhitungan statistik yang sering digunakan.

$$HR = \frac{60}{(Interval_RR)} \quad (2.1)$$

dengan

Interval_RR = Jarak antara gelombang R dengan gelombang R lainnya yang berdekatan terukur dalam satuan waktu (sekon)

Metoda pengukuran pada domain waktu secara statistik (*statistical time-domain measures*) dibagi dua bagian yaitu: pengukuran secara langsung interval NN (*normal to normal*)/ interval RR atau kecepatan detak jantung (seperti rata- rata, standar deviasi, jangkauan dan laian- lain) dan pengukuran perbedaan antara interval NN (seperti *root mean square of successive differences*/RMSSD, pNN50, NN50). Nilai variabel tersebut didapatkan dari hasil rekaman EKG. Ada beberapa komponen statistik yang digunakan dalam analisa HRV pada domain waktu yaitu [4]:

- Rata- rata interval NN/ kecepatan detak jantung (lihat persamaan 2.2)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \times \sum_{t=1}^N x(t) \quad (2.2)$$

dengan

$x(t)$ = waktu interval NN pada waktu ke-t

N = Jumlah sampel

- Deviasi antara nilai minimum dan maksimum interval NN/kecepatan detak jantung (jangkauan)
- Standar deviasi interval NN/ *standard deviation of NN interval* (SDNN) (lihat persamaan 2.3). SDNN merupakan besaran statistik yang tidak dapat terdefiniskan secara baik karena bergnatumg terhadap lama rekaman EKG. Kalkulasi SDNN juga tidak bisa dikalkulasikan pada perioda rekaman EKG yang berbeda- beda. Oleh karena itu, metoda HRV menstandarisasikan lama rekaman EKG dibagi dua yakni rekaman EKG jangka pendek (*short term*) selama 5 menit dan rekaman EKG nominal jangka panjang (*long term*) selama 24 jam.

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{t=1}^N (x(t) - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

- NN50 merupakan jumlah perbedaan interval NN yang berurutan lebih besar dari 50ms
- pNN50 merupakan persentasi jumlah NN50 terhadap jumlah interval NN
- *Root mean square of succesive differences* (RMSSD). RMSSD merupakan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat perbedaan interval NN

$$RMSSD_x = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{t=1}^{N-1} (x(t) - x(t+1))^2} \quad (2.4)$$

dengan

$x(t)$ = waktu interval NN pada waktu ke- t

$x(t+1)$ = waktu interval NN pada waktu ke- $t+1$

N = Jumlah sampel interval NN

III. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Untuk menganalisa keseimbangan sistem saraf otonomik pada komputer digunakan algoritma deteksi gelombang QRS kompleks dan metoda analisa HRV dengan bahasa pemrograman Matlab. Analisa EKG terbagi modul- modul pemrograman yakni modul pemrograman deteksi gelombang R dari modul program deteksi QRS, modul pemrograman interval RR dan kecepatan detak jantung, modul pemrograman HRV pada domain waktu dan domain frekuensi, dan modul database hasil analisa EKG (lihat gambar 3.1). Metoda HRV membutuhkan data kecepatan detak jantung atau jarak interval antar gelombang R. Oleh karena itu, deteksi QRS kompleks dibutuhkan untuk mendeteksi gelombang R, menghitung jarak interval gelombang R sehingga bisa didapatkan data kecepatan detak jantung. Tahap- tahap dalam menganalisa keseimbangan saraf otonomik dalam 2 bagian yakni:

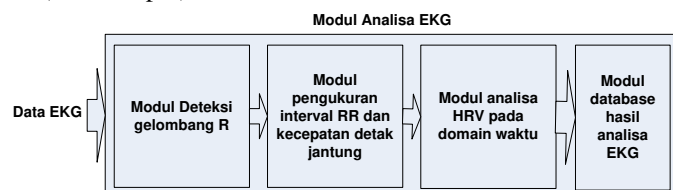
a. Deteksi QRS

Algoritma deteksi QRS yang digunakan adalah algoritma yang dikembangkan oleh Pan dan Tompkins. Algoritma tersebut menganalisa berdasarkan kemiringan (*slope*), amplitudo, dan lebar. Algoritma Pan dan Tompkins yang dirancang untuk *sampling* data 200Hz terbagi 6 bagian yaitu [14]: Filter Bandpass, Filter low-pass, Filter high-pass, Fungsi Turunan (*derivative*), Fungsi Penkuadratan (*squaring function*), Fungsi *Moving Window Integral*, Thresholding. Diagram alir deteksi QRS sudah pernah dirancang dan dilakukan pada penelitian sebelumnya serta dapat dilihat hasilnya pada publikasi [3]

b. Metoda HRV pada domain waktu

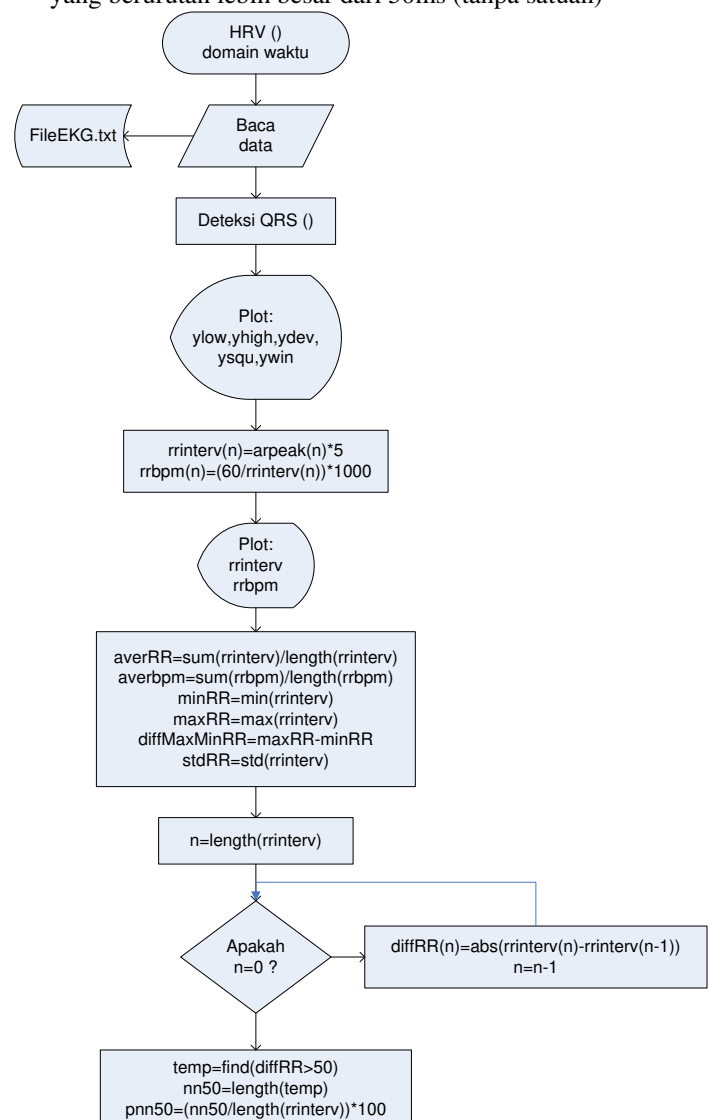
Metoda HRV pada domain waktu membutuhkan data interval R-R yang didapatkan dari hasil deteksi QRS. Kemudian hasil data interval R-R diolah menjadi data- data statistik seperti:

- Kecepatan detak jantung menunjukkan rata- rata detak jantung dalam jangka waktu tertentu misal: 5 menit (satuan: bpm)



Gambar 2. Modul analisa EKG dengan Metoda HRV pada domain waktu

- Rata- rata interval RR menunjukkan rata- rata data interval R-R (satuan: milisekon)
- Minimum interval RR menunjukkan nilai waktu interval RR yang paling kecil dalam jangka waktu tertentu (satuan: milisekon) misal: 5 menit
- Maksimum interval RR menunjukkan nilai waktu interval RR yang paling besar dalam jangka waktu tertentu (satuan: milisekon) misal: 5 menit
- Jangkauan interval RR menunjukkan perbedaan antara nilai waktu interval RR yang paling besar dan nilai waktu interval RR yang paling kecil (satuan: milisekon)
- SDNN (*standard deviation of RR interval* / standar deviasi interval R-R) menggambarkan variasi sinyal interval R-R (satuan: milisekon)
- NN50 (*# of interval of succesive NN interval >50ms* merupakan data statistik jumlah perbedaan interval NN yang berurutan lebih besar dari 50ms (tanpa satuan)



Gambar 3. Diagram Alir pemrograman HRV domain waktu

- pNN50 perbandingan jumlah NN50 terhadap jumlah total sampel NN (dalam persentase)

Diagram alir metoda HRV pada domain waktu yang ditunjukkan pada gambar 3.2 dengan keterangan gambar sebagai berikut:

- rrinterv(n): interval RR ke-n
- rrbpm(n): kecepatan detak jantung ke-n
- averRR: rata- rata interval RR
- averbpm: rata- rata kecepatan detak jantung
- minRR: nilai interval RR minimum
- maxRR: nilai interval RR maksimum
- diffMaxMinRR: differensiasi nilai maxRR dan minRR
- stdRR: Standar deviasi RR

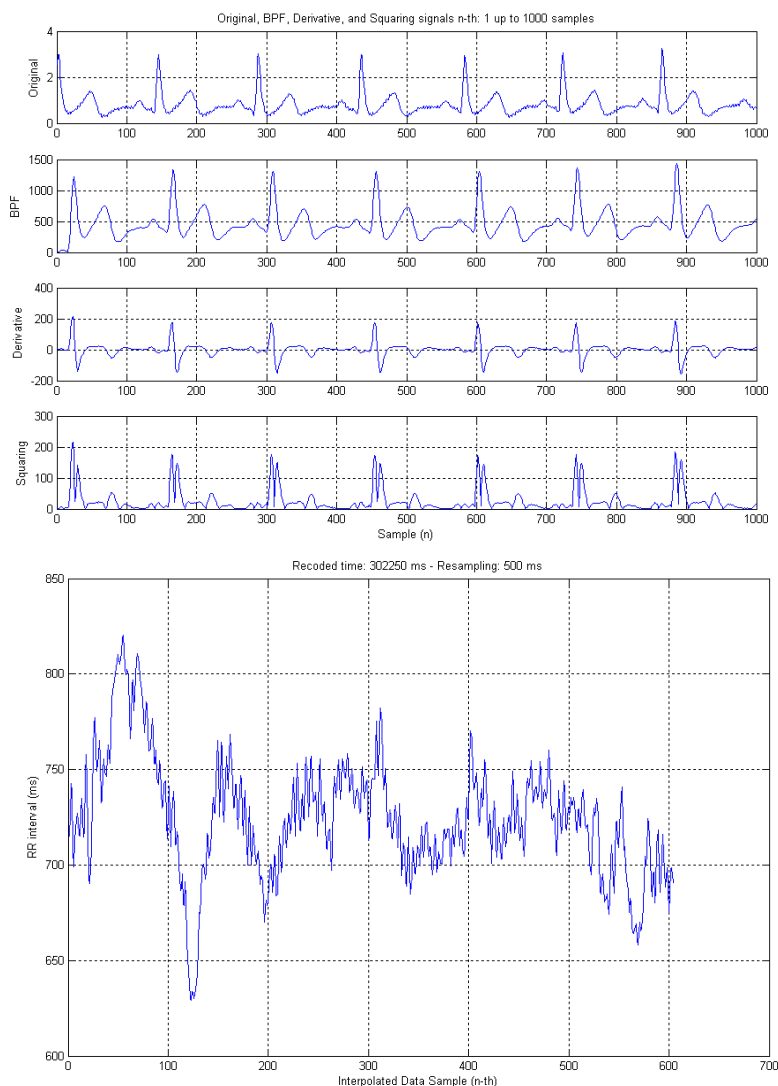
IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada tahap pengujian, penelitian ini melakukan perekaman EKG dengan menggunakan perangkat Telekardiologi[3] pada 5 subyek yang terdiri dari 4 laki- laki dan 1 perempuan yang berumur antara 20 tahun sampai 58

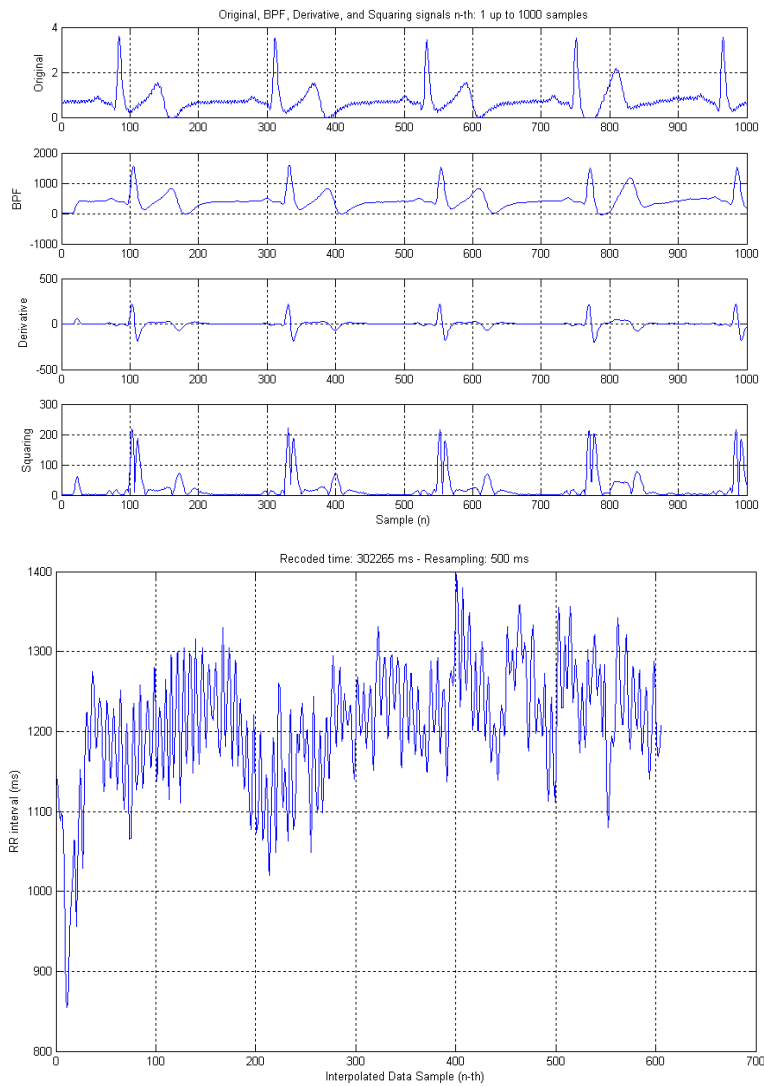
tahun. Rekaman EKG dilakukan selama 5 menit untuk masing- masing aktivitas berdiri dan terlentang. Kemudian hasil rekaman EKG tersebut diolah untuk mendeteksi gelombang QRS dan didapatkan nilai interval RR. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 yang merepresentasikan hasil deteksi QRS pada subjek 1. Langkah selanjutnya menganalisa hasil deteksi QRS dengan metoda HRV pada domain waktu yang diterapkan pada 5 subjek untuk mengetahui keseimbangan saraf otonomik. Hasil analisa EKG dengan metoda HRV pada domain waktu dapat dilihat pada tabel 4.1,4.2,4.3,4.4,dan 4.5.

Tabel 4.1 merupakan analisa HRV domain waktu pada subyek 1. Berdasarkan tabel tersebut, dua macam aktivitas berdiri dan terlentang menghasilkan:

- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun



Gambar 4. (a) Deteksi QRS dan data interval R-R pada aktivitas berdiri selama 5 menit



Gambar 5. (b) Deteksi QRS dan data interval R-R pada aktivitas terlentang selama 5 menit

TABLE II. HASIL HRV PADA DOMINAN WAKTU(SUBYEK 1)

Parameter [satuan]	Kondisi	
	Berdiri	Terlentang
Waktu Rata- rata interval RR [ms]	723	1.204
Kecepatan rata- rata detak jantung [bpm]	83,1357	50,0846
Waktu minimum interval RR [ms]	630	855
Waktu maksimum interval RR [ms]	820	1390
Jangkauan waktu interval RR [ms]	190	535
Standar deviasi [ms]	31	81
nn50 [n.u]	1	164
pnn50 [%]	0,2387	65,0794

TABLE III. HASIL HRV PADA DOMINAN WAKTU(SUBYEK 2)

Parameter	Kondisi	
	Berdiri	Terlentang
Waktu Rata- rata interval RR [ms]	776	849
Kecepatan rata- rata detak jantung [bpm]	77,3355	70,7033
Waktu minimum interval RR [ms]	720	775
Waktu maksimum interval RR [ms]	815	980

Jangkauan waktu interval RR [ms]	95	205
Standar deviasi [ms]	18	34
nn50 [n.u]	1	23
pnn50 [%]	0,2558	6,4426

TABLE IV. HASIL HRV PADA DOMINAN WAKTU(SUBYEK 3)

Parameter	Kondisi	
	Berdiri	Terlentang
Waktu Rata- rata interval RR [ms]	855	949
Kecepatan rata- rata detak jantung [bpm]	70,1995	63,2174
Waktu minimum interval RR [ms]	790	870
Waktu maksimum interval RR [ms]	935	1035
Jangkauan waktu interval RR [ms]	145	165
Standar deviasi [ms]	24	28
nn50 [n.u]	4	41
pnn50 [%]	1,1268	12,8527

TABLE V. HASIL HRV PADA DOMINAN WAKTU(SUBYEK 4)

Parameter	Kondisi	
	Berdiri	Terlentang
Waktu Rata- rata interval RR [ms]	712	852
Kecepatan rata- rata detak jantung [bpm]	84,3619	70,5204
Waktu minimum interval RR [ms]	650	775
Waktu maksimum interval RR [ms]	830	960
Jangkauan waktu interval RR [ms]	180	185
Standar deviasi [ms]	29	35
nn50 [n.u]	1	57
pnn50 [%]	0,2347	16,0563

TABLE VI. HASIL HRV PADA DOMINAN WAKTU(SUBYEK 5)

Parameter	Kondisi	
	Berdiri	Terlentang
Waktu Rata- rata interval RR [ms]	610	773
Kecepatan rata- rata detak jantung [bpm]	98,5560	77,8106
Waktu minimum interval RR [ms]	530	680
Waktu maksimum interval RR [ms]	730	990
Jangkauan waktu interval RR [ms]	200	310
Standar deviasi [ms]	32	46
nn50 [n.u]	5	69
pnn50 [%]	1,0060	17,5573

Tabel 4.2 merupakan analisa HRV domain waktu pada subyek 2. Berdasarkan tabel tersebut, dua macam aktivitas berdiri dan terlentang menghasilkan:

- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun

Tabel 4.3 merupakan analisa HRV domain waktu pada subyek 3. Berdasarkan tabel tersebut, dua macam aktivitas berdiri dan terlentang menghasilkan:

- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun

Tabel 4.4 merupakan analisa HRV domain waktu pada subyek 4. Berdasarkan tabel tersebut, dua macam aktivitas berdiri dan terlentang menghasilkan:

- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun

Tabel 4.5 merupakan analisa HRV domain waktu pada subyek 5. Berdasarkan tabel tersebut, dua macam aktivitas berdiri dan terlentang menghasilkan:

- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun

Sebagai asumsi awal, kecepatan rata- rata detak jantung pada aktivitas terlentang lebih rendah dibandingkan pada

aktivitas berdiri. Hal ini disebabkan aktivitas berdiri mengeluarkan energi sehingga membuat detak jantung bekerja lebih berat. Kecepatan rata- rata detak jantung yang menurun akan menghasilkan waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, waktu maksimum interval RR meningkat karena besaran waktu interval RR berbanding terbalik dengan kecepatan rata- rata detak jantung. Selain itu, aktivitas terlentang akan menghasilkan besaran nn50 semakin meningkat. Aktivitas terlentang juga merupakan aktivitas parasimpatik yang mengatur RSA (*respiratory sinus arrhythmia*) yang berkaitan dengan pernapasan [15]. Besaran nn50 yang meningkat akan menghasilkan pnn50 meningkat juga.

Berdasarkan hasil analisa HRV pada domain waktu yang diperlihatkan dalam Tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5, secara garis besar menghasilkan kesimpulan yang sesuai asumsi awal. Sistem saraf simpatik yang diwakili oleh aktivitas berdiri membuat:

- kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun
- waktu rata- rata interval RR, waktu minimum interval RR, dan waktu maksimum interval RR semakin meningkat
- standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat

dibandingkan dengan sistem saraf parasimpatik yang diwakili oleh aktivitas terlentang. Hal ini menandakan bahwa sistem saraf parasimpatik semakin berperan aktif dibandingkan sistem saraf simpatik.

V. KESIMPULAN

Analisa menggunakan metoda HRV pada domain waktu, kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut:

1. Analisa HRV pada domain waktu akan menghasilkan (perbandingan aktivitas berdiri dengan aktivitas terlentang):
 - kecepatan rata- rata detak jantung semakin menurun
 - waktu rata- rata interval RR semakin meningkat
 - waktu minimum interval RR semakin meningkat
 - waktu maksimum interval RR semakin meningkat
 - standar deviasi, nn50, dan pnn50 meningkat
2. Dengan menggunakan metoda HRV, perubahan aktivitas dari berdiri ke terlentang dapat memperlihatkan perubahan aktivitas simpatik ke parasimpatik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetyo, Budi, "Kematian Akibat Penyakit Jantung Koroner Capai 53,5%", *Tribunnews.com*, Oktober 2011
- [2] Anwar, Bahri, "Faktor Resiko Penyakit Jantung Koroner", Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara, Tahun 2004
- [3] Junartha et al., "Telekardiologi menggunakan komunikasi Bluetooth", *Jurnal Telekomunikasi IT Telkom*, Vol.14 Tahun 2009.
- [4] Task Force of the European society of cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology, "Heart rate variability – standard of measurement, physiological interpretation, and clinical use", *Circulation*, Maret 1996
- [5] Heart, <http://csm.jmu.edu/biology/danie2jc>
- [6] Thaler, Malcolm S, "Satu- satunya buku EKG yang anda perlukan (The Only EKG Book You'll Ever Need)", Hipokrates, Edisi ke-2, Tahun 2000
- [7] Jones, Shirley A, "ECG Notes: Interpretation and Management Guide", F.A. Davis Company, Tahun 2005

- [8] Uuvuori, Johana, "Arrhythmia analysis (heart rate variability)", www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.6010/s04/local/uusvuori.ppt
- [9] Dorland, "Dorland's Illustrated Medical Dictionary", Saunders, Edisi ke -32, Tahun 2011
- [10] Stedman, "Stedman's Medical Dictionary", Edisi ke-27, Tahun 2000
- [11] Macarthur Research Network, "Allostatic load notebook: Parasympathetic Function", UCSF, Tahun 1999
- [12] Brodal, Per, "The Central Nervous System: Structure and Function", Oxford University Press, Edisi ke-3, 2004.
- [13] Sherwood, Lauralee, "Human Physiology: From Cells to Systems", Cengage Learning, Edisi ke-7, Tahun 2008
- [14] Jiapu Pan and Willis J.Tompkins, "A Real Time QRS Detection Algorithm", IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Maret 1985
- [15] Edlinger, et all, "Heart-Rate Variability and Event-Related ECG in Virtual Environments", Guger Technologies, Tahun 2004